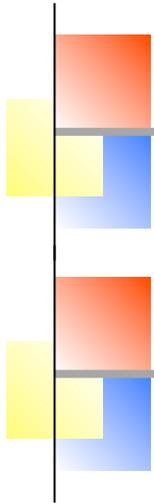




Universidade Federal Fluminense
Instituto de Física
Física IV



Cap 38 - O fim da física clássica

Daniel Jonathan

Niterói, Março/2014

O que têm em comum?



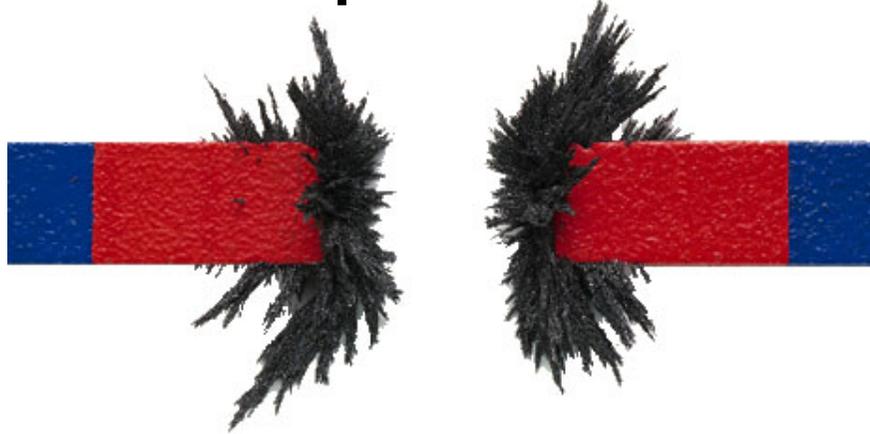
Opaco
Bom condutor elétrico
Bom condutor de calor
Dúctil
etc...



Transparente
Mau condutor elétrico
Mau condutor de calor
Frágil
etc..

O que têm em comum?

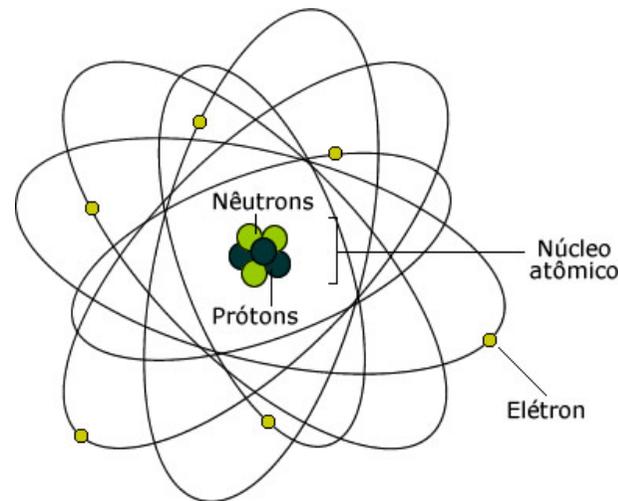
Ímãs permanentes



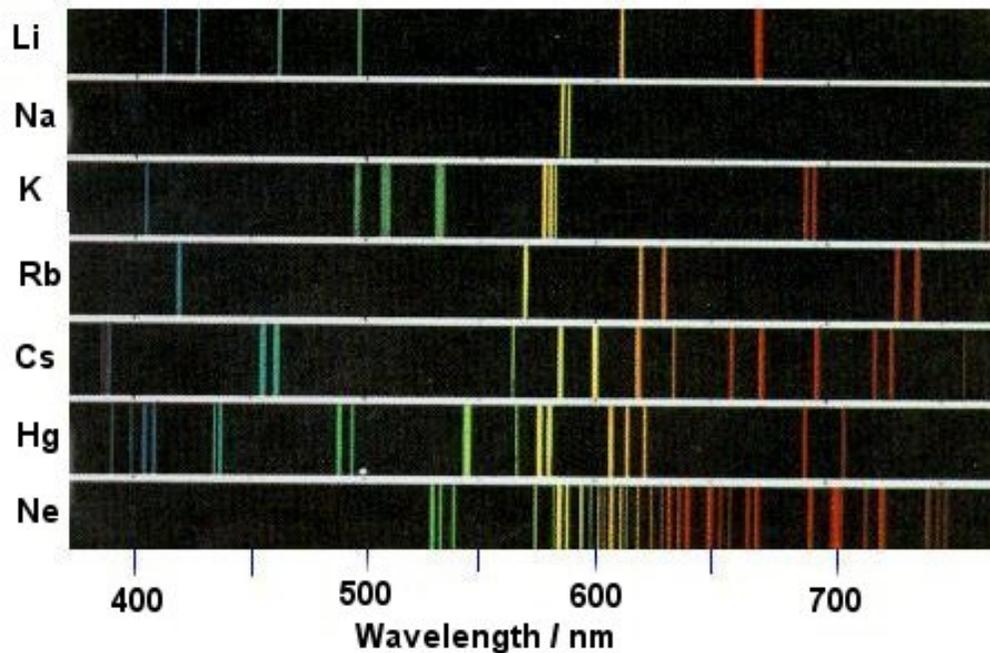
Estrelas



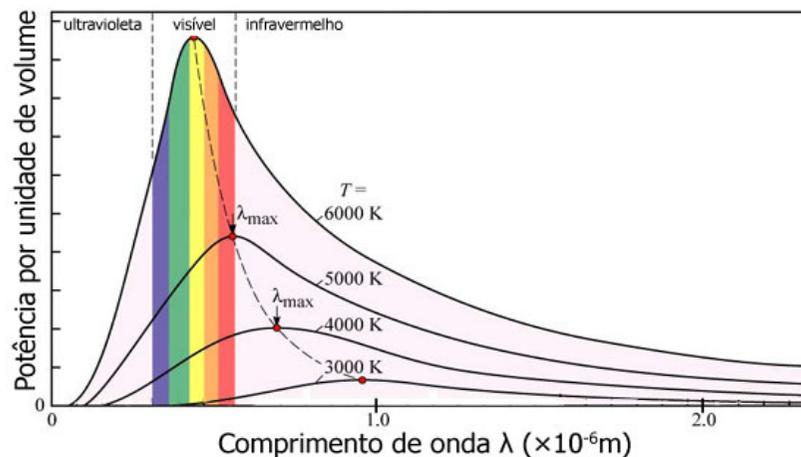
Átomos estáveis



O que têm em comum?



Espectro discreto de emissão de substâncias puras



Espectro contínuo de emissão de “corpos negros” (objetos macroscópicos aquecidos)

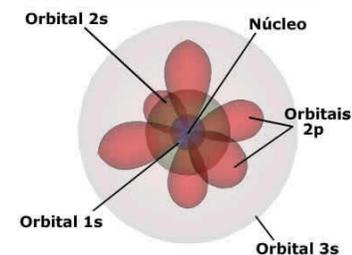
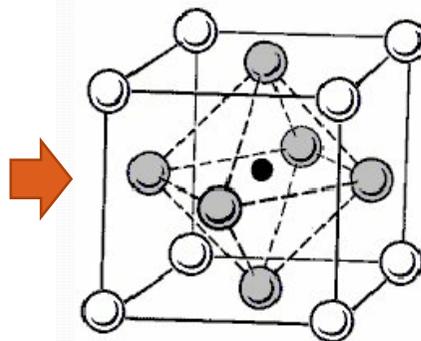
O que têm em comum?

**Esses fenômenos naturais não são
explicáveis pela
física do séc XIX (ou 'clássica')...**

Passo crucial

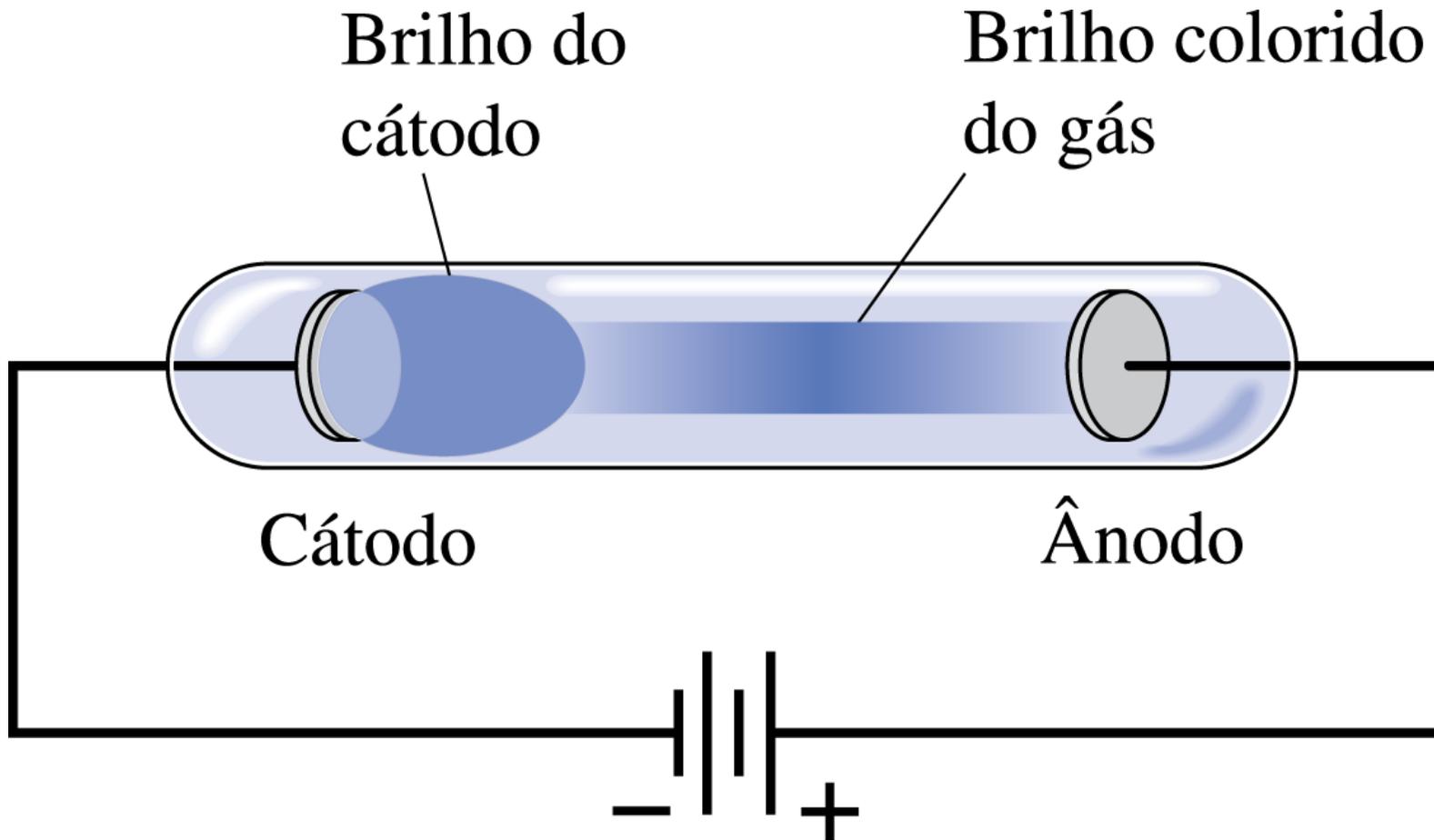


Antes de mais nada, foi preciso compreender melhor a **estrutura da matéria**, até o nível dos seus constituintes mais fundamentais



Dispositivo de Faraday

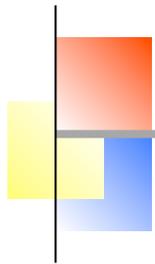
Tubo de descarga em gás de Faraday.



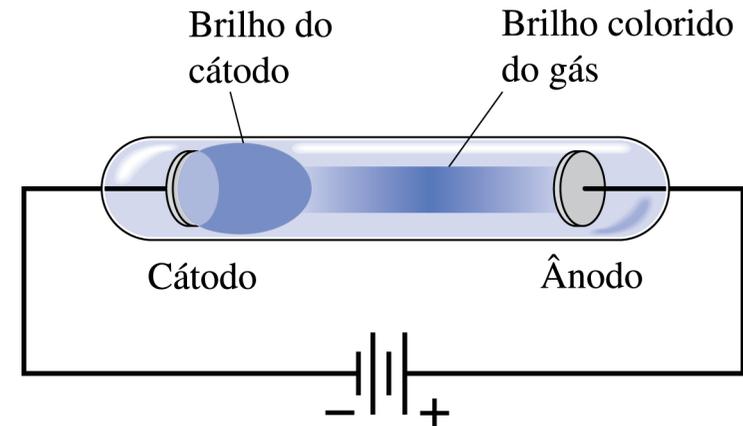
7

No experimento de Faraday o gás era ar (basicamente N_2) – roxo.

Dispositivo de Faraday



Tubo de descarga em gás



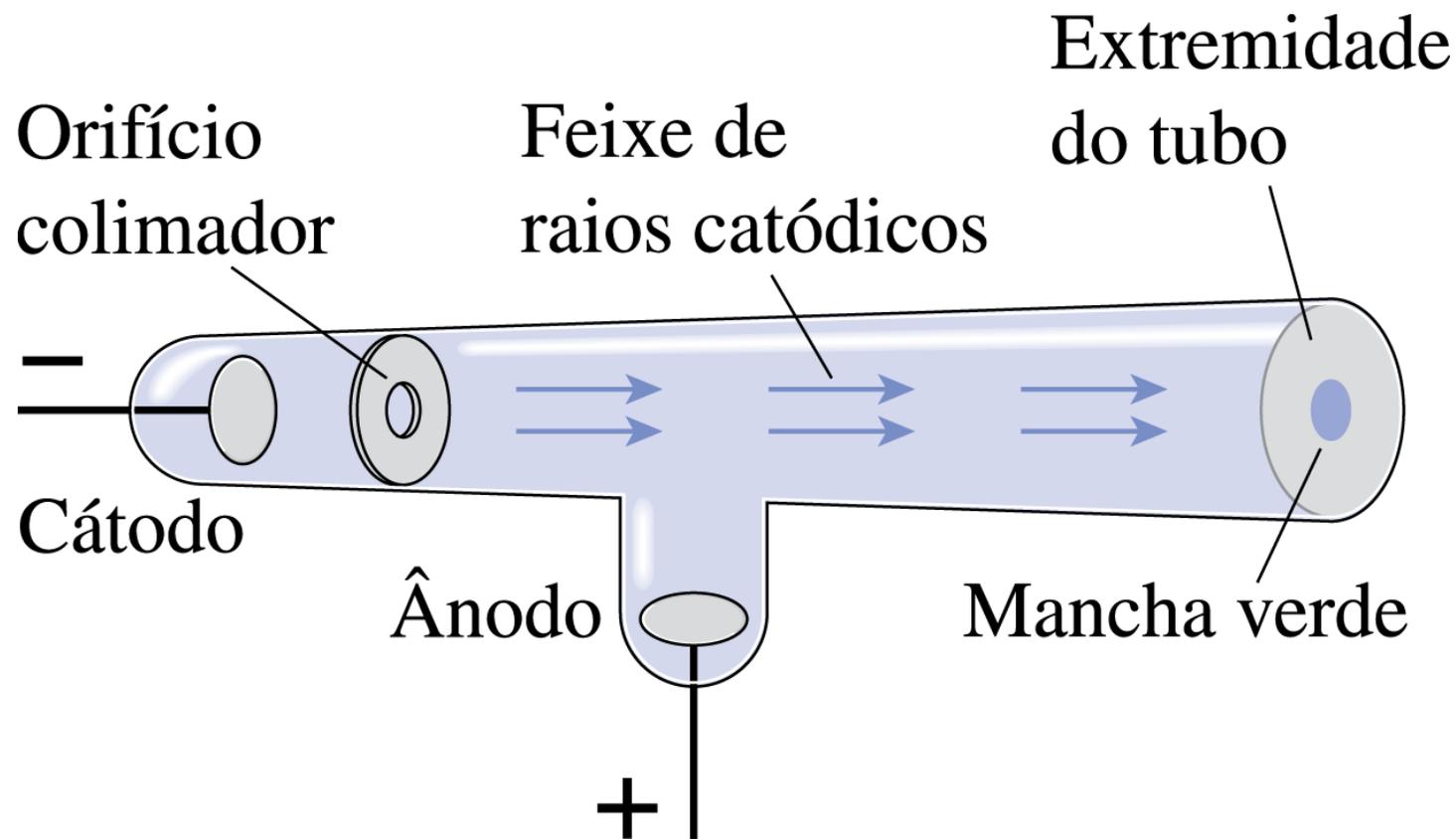
Conclusões de Faraday:

- 1) A corrente flui através do gás a baixa pressão.
- 2) A cor da luz emitida pela descarga depende do gás.
- 3) Independente do tipo de gás, existe um brilho constante em torno do cátodo)

Tubos de Crookes

William Crookes, cientista inglês.

Na década de 1870 desenvolveu um conjunto aperfeiçoado de tubos de vidro para estudos minuciosos dos raios catódicos.



Tubos de Crookes

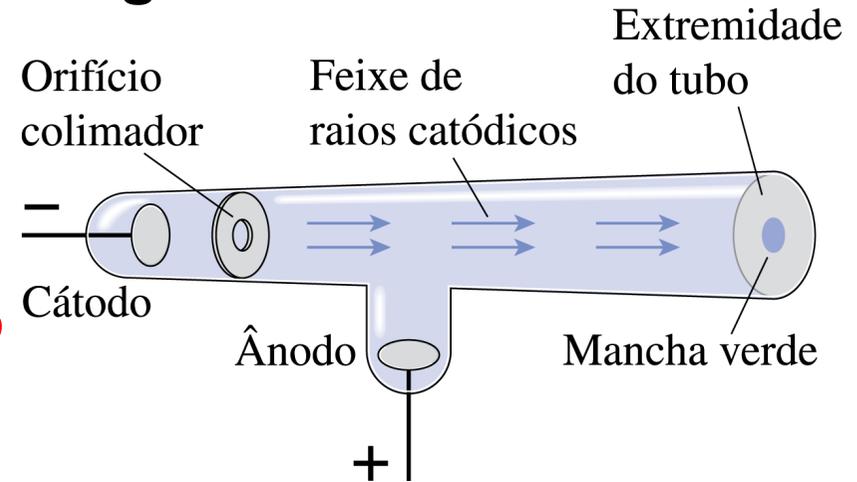
William Crookes, cientista inglês.

Algumas conclusões de Crookes:

- 1) Existe uma corrente elétrica no tubo.
- 2) Os raios são desviados por um campo magnético.
- 3) Os raios catódicos independem do metal do qual é feito o cátodo.
- 4) Os raios podem exercer forças sobre objetos e transferir energia.

Hipótese de Crookes: a corrente seria formada por moléculas do gás que colidiram com o cátodo, de alguma forma adquiriram carga negativa e, então, foram repelidas em altas velocidades pelo cátodo.

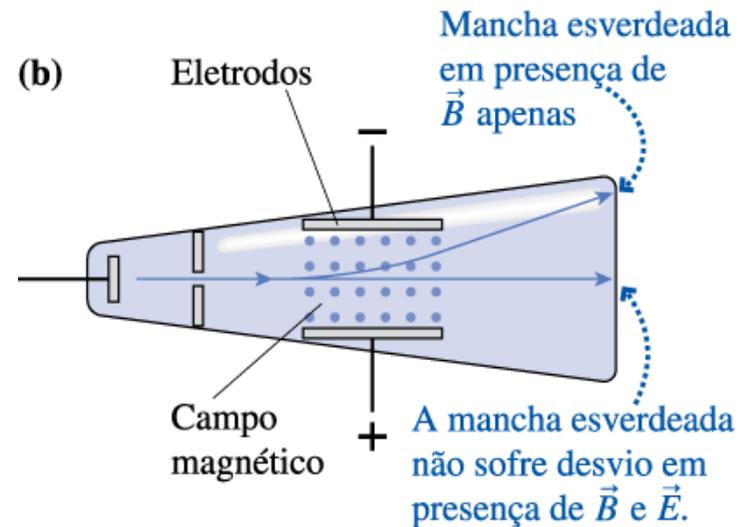
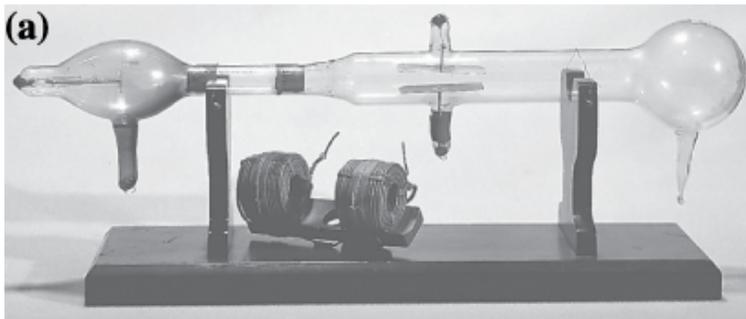
A hipótese foi imediatamente atacada – o ente observado percorria 90 cm no tubo, e já sabia-se que uma molécula só poderia percorrer 6 mm em média antes de colidir com outra.



A descoberta do elétron (1897)

J. J. Thomson – físico inglês

Experimento (1895) submetendo raios catódicos a campos E e B cruzados:



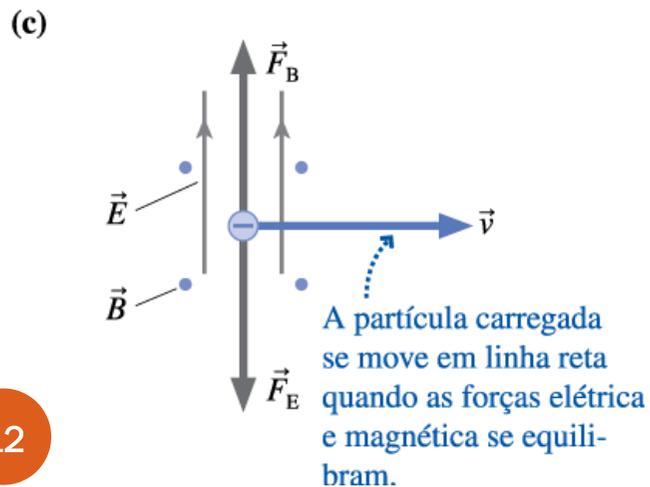
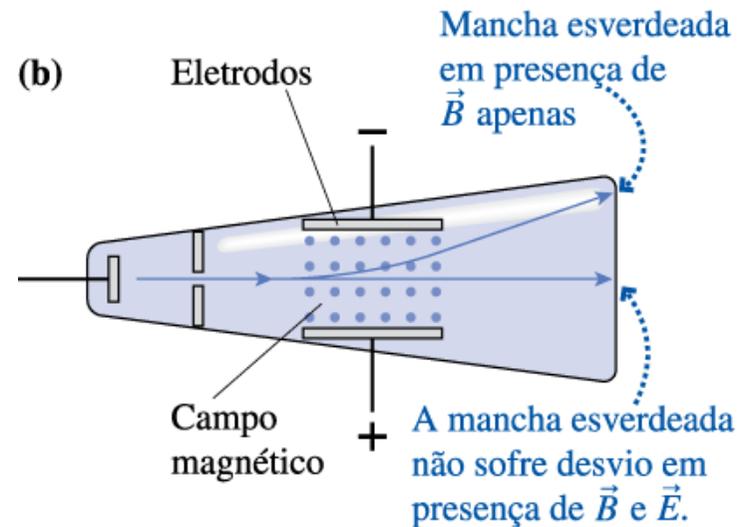
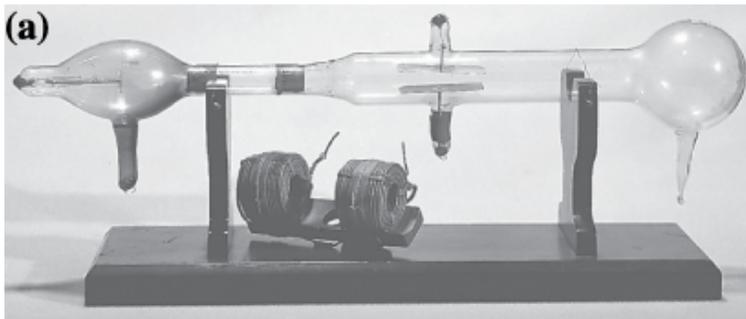
Ligando apenas o campo B: trajetória circular de raio R satisfazendo

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$$

A descoberta do elétron (1897)

J. J. Thomson – físico inglês

Experimento (1895) submetendo raios catódicos a campos E e B cruzados:



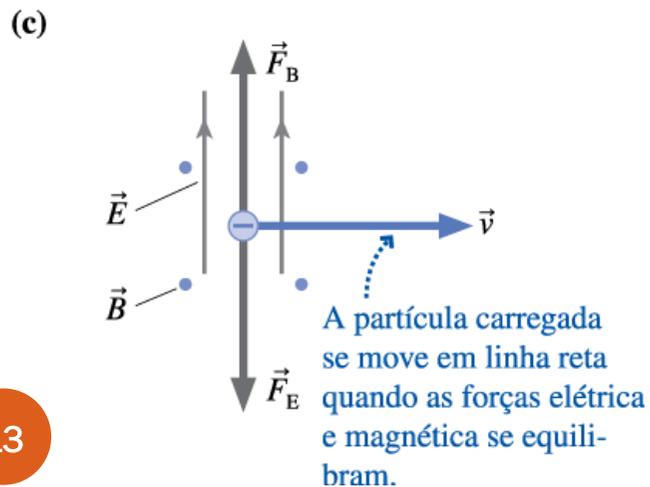
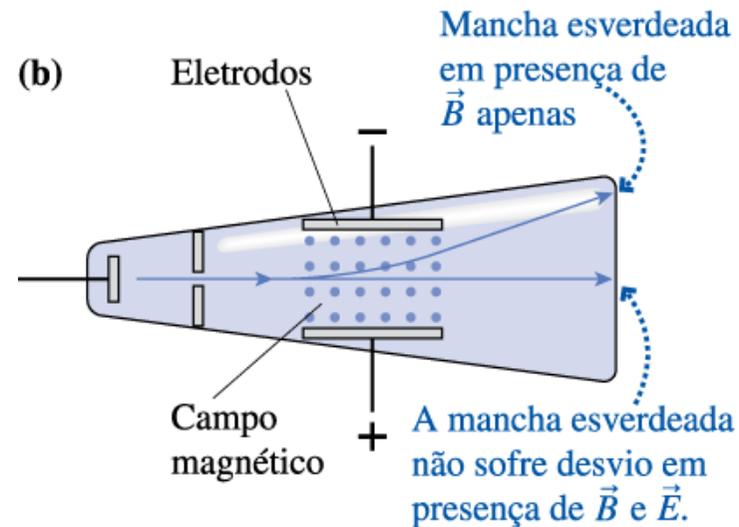
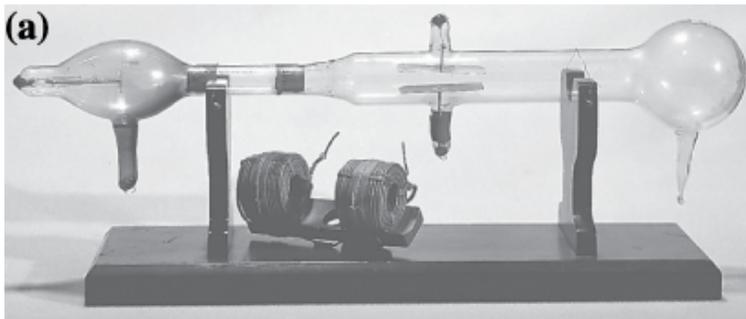
O valor de v pode ser obtido aplicando ainda uma força eletrostática calibrada para cancelar a força magnética:

$$qvB = qE \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

A descoberta do elétron (1897)

J. J. Thomson – físico inglês

Experimento (1895) submetendo raios catódicos a campos E e B cruzados:

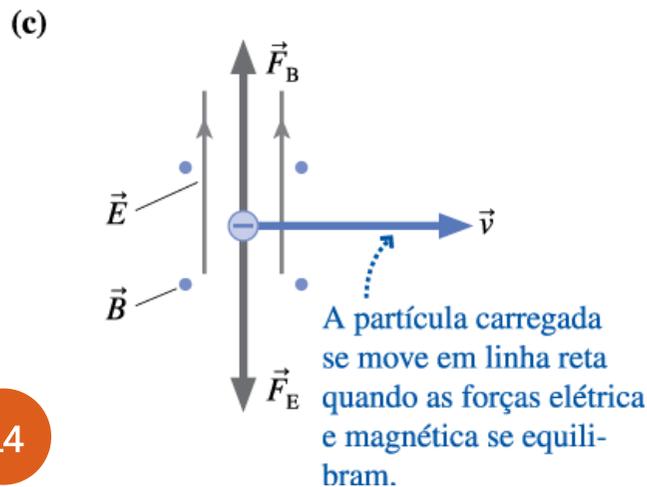
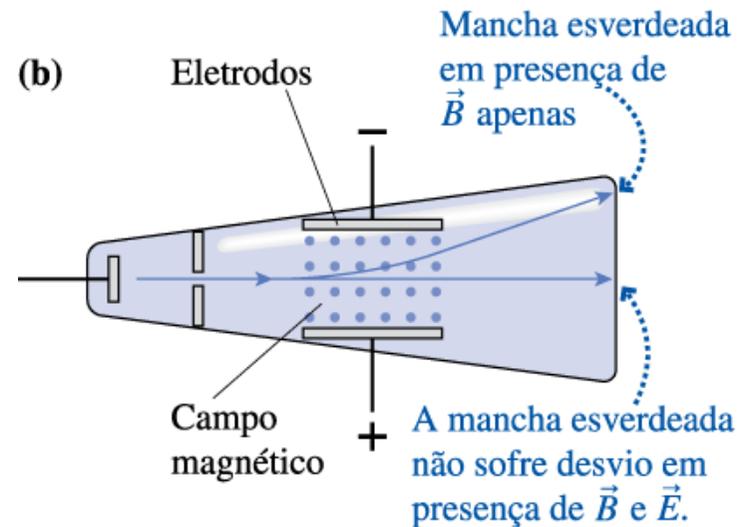
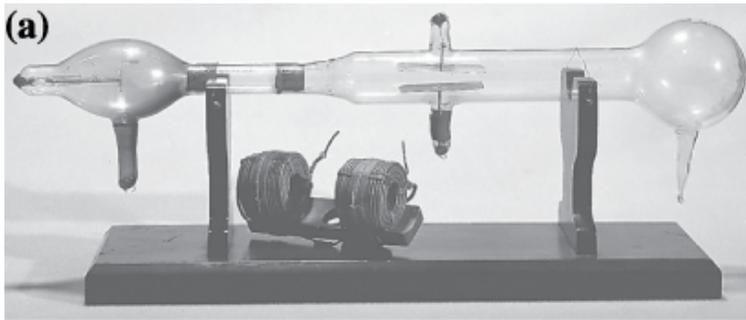


Thomson obteve assim a razão q/m (**carga/massa**) dos constituintes dos 'raios'. O valor obtido ($q/m \sim 10^{11}$ C/Kg) era mais de 1000 vezes maior que o q/m do Hidrogênio.

A descoberta do elétron (1897)

J. J. Thomson – físico inglês

Experimento (1895) submetendo raios catódicos a campos E e B cruzados:



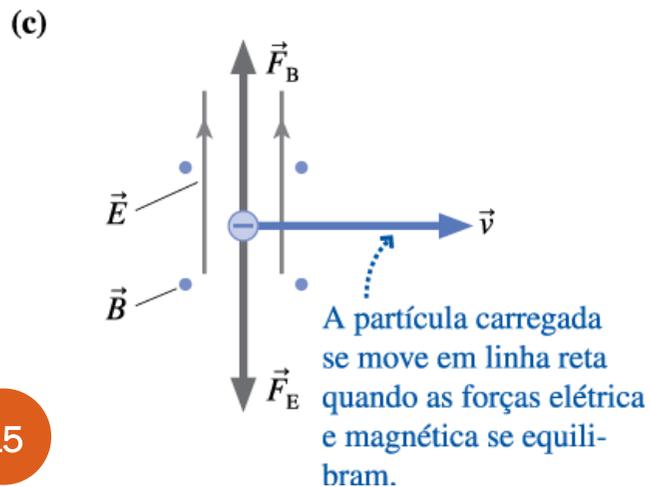
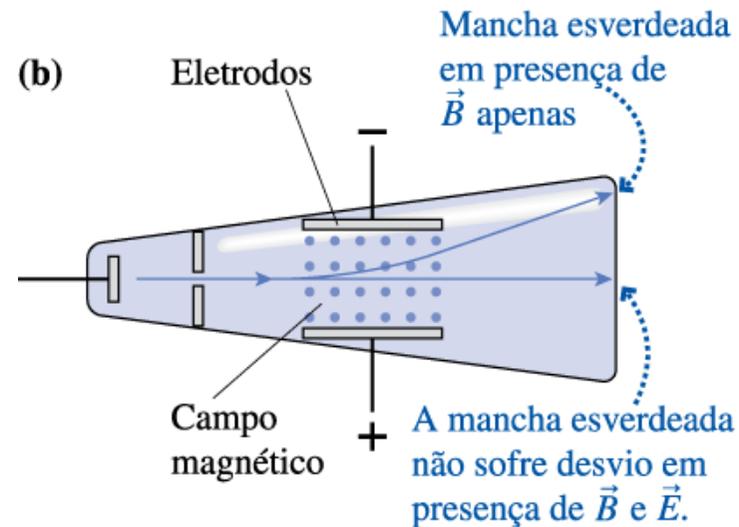
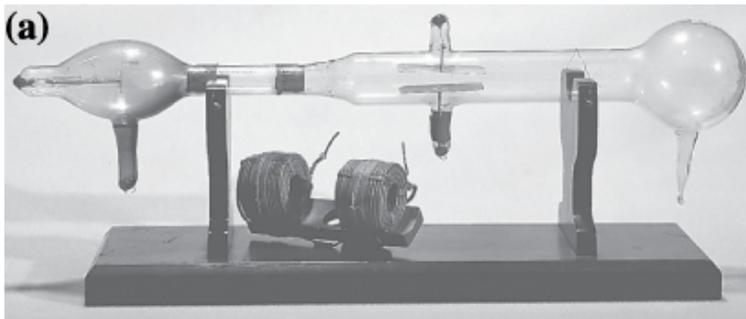
Conclusão (1897): raios catódicos são partículas negativas e com massa inferior à dos átomos – SE TRATA DE UMA PARTÍCULA SUBATÔMICA, UM DOS CONSTITUINTES DO ÁTOMO.

Prêmio Nobel de 1906

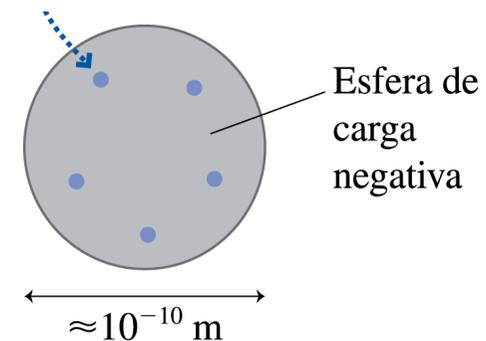
A descoberta do elétron (1897)

J. J. Thomson – físico inglês

Experimento (1895) submetendo raios catódicos a campos E e B cruzados:



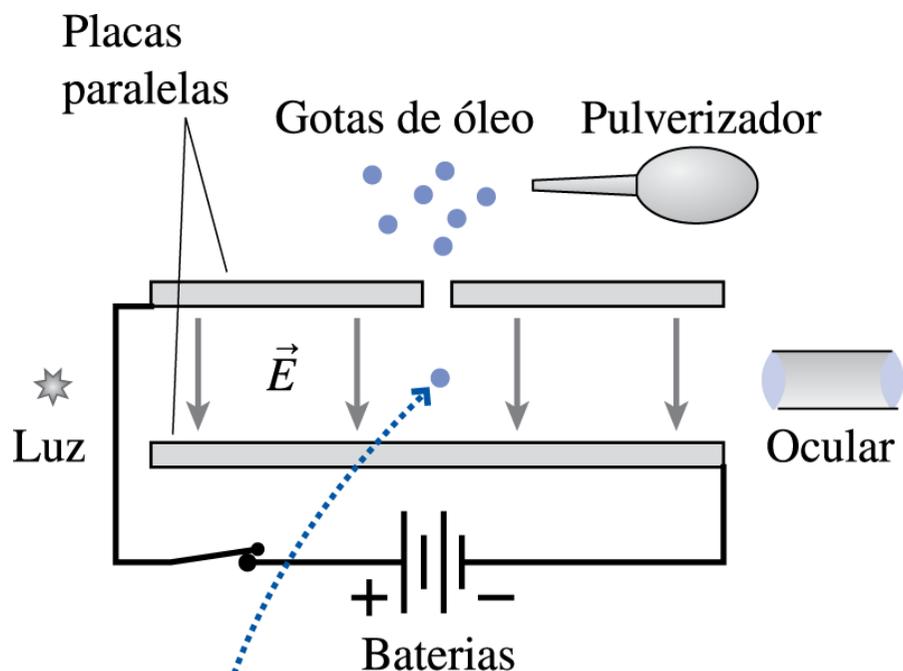
Modelo atômico de Thomson



Experimento de Millikan (1906)

Robert Millikan, cientista Norte-Americano

Experimento da gota de óleo – conseguiu determinar a carga do elétron



A força elétrica orientada para cima sobre uma gota carregada negativamente equilibra a força gravitacional orientada para baixo.

$$q_{gota} = \frac{m_{gota}g}{E}$$

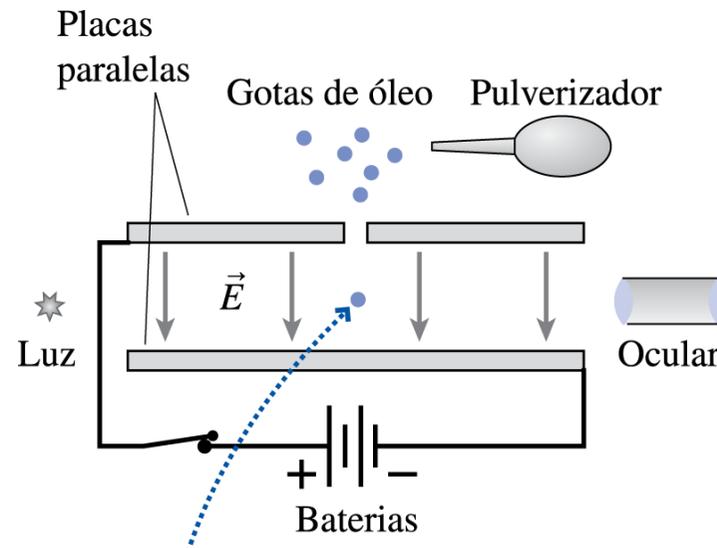
valores obtidos para q_{gota} :
sempre múltiplos inteiros da
carga fundamental

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

como já se conhecia q/m , foi possível
então determinar a ***massa do elétron***

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

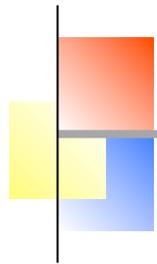
Experimento de Millikan (1906)



Ex. 38.2 – O óleo tem uma densidade $d = 860 \text{ kg/m}^3$. Uma gota de óleo com $1,0 \text{ }\mu\text{m}$ de diâmetro adquire 10 elétrons extras ao ser borrifada. Que diferença de potencial, entre duas placas paralelas distantes $1,0 \text{ cm}$ uma da outra, fará com que a gota fique suspensa no ar?

R: $\Delta V = 27,6 \text{ V}$

Radioatividade (1896)



Antoine Henri Becquerel (cientista francês)

Descobriu que cristais de urânio emitem três tipos diferentes de 'raios':

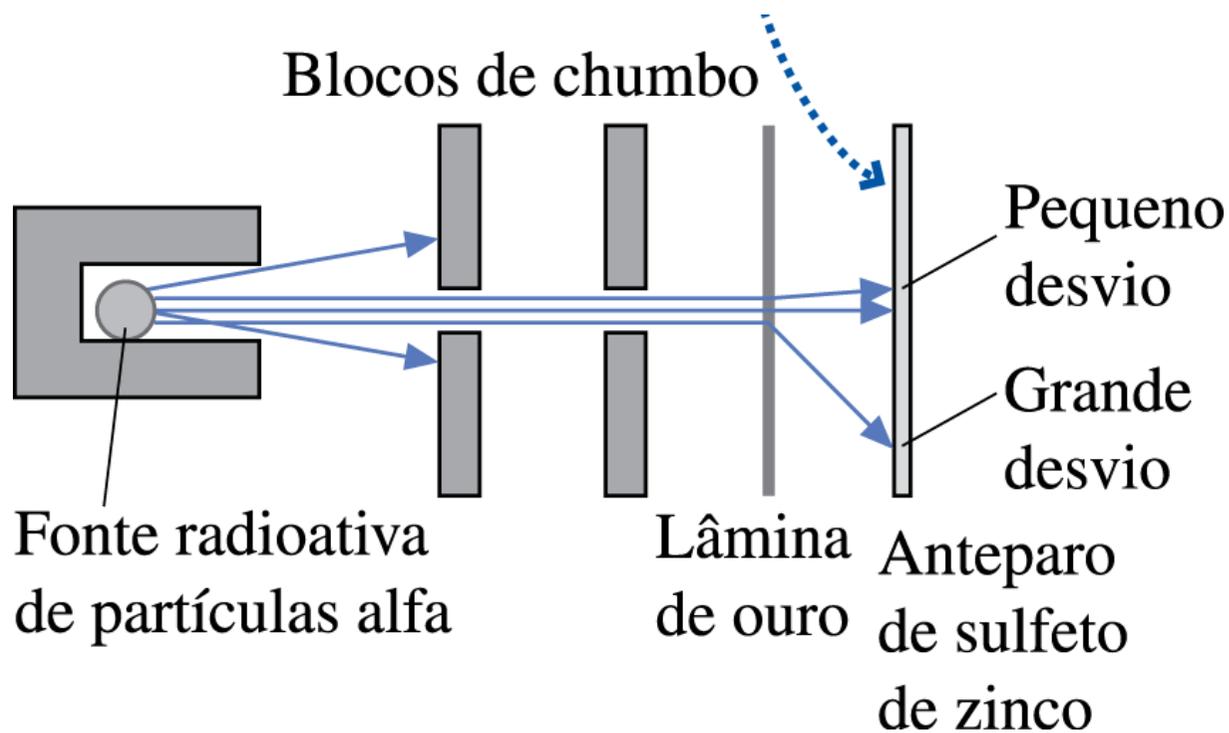
Raios alfa (α) – facilmente absorvidos por um papel
partícula positiva c/ relação carga/massa $q/m = e / 2m_{\text{Hidrogênio}}$

Raios beta (β) – atravessavam pedaços de metal de 2,5 cm – elétrons

Raios gama (γ) – atravessavam placas de metal de até 20 cm de
espessura radiação eletromagnética

Experimento de Rutherford (1909)

Aluno de Thomson – Ernest Rutherford (neozelandês)

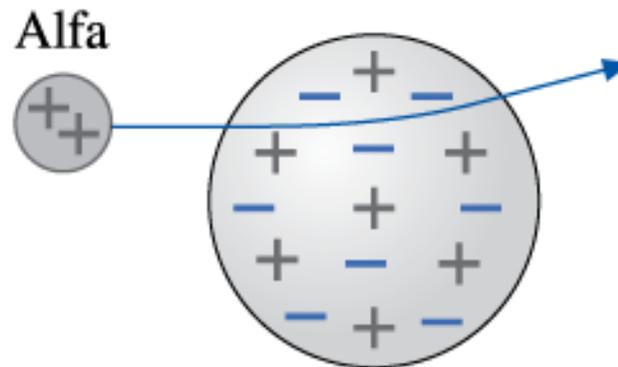


Experimento de Rutherford (1909)

Aluno de Thomson – Ernest Rutherford (neozelandês)

Se o átomo fosse como Thomson havia sugerido, JAMAIS uma partícula alfa seria retroespalhada.

(a)



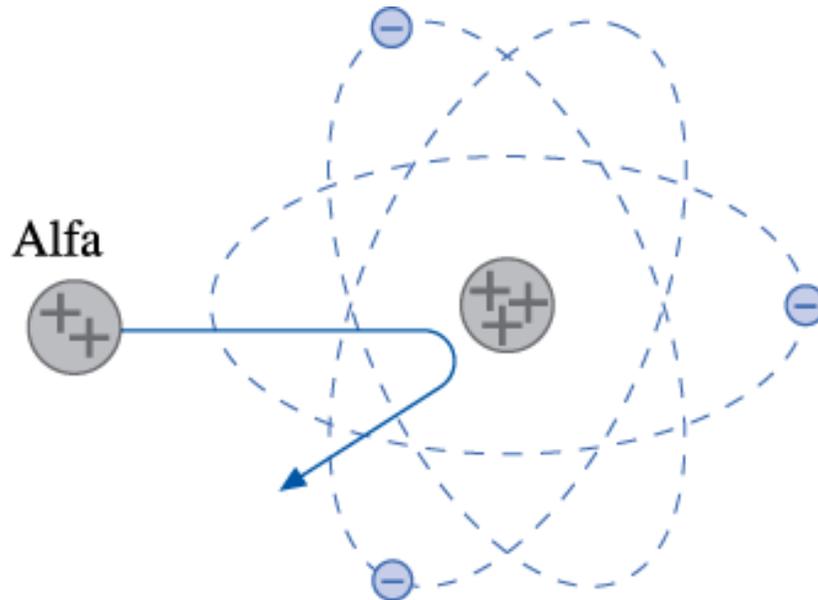
A partícula alfa é minimamente desviada por um átomo de Thomson, pois as forças das cargas positivas e negativas espalhadas praticamente se cancelam.

Experimento de Rutherford (1909)

Este foi o modelo atômico proposto por Rutherford.

Algumas partículas eram desviadas em altas ângulos e algumas eram retroespalhadas.

(b)



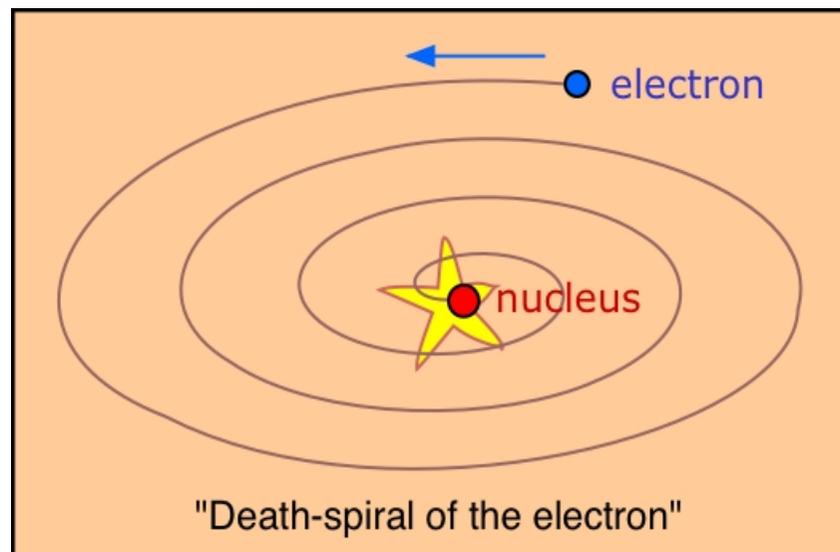
Observem que a maior parte do átomo é espaço vazio.

Se o átomo contivesse um núcleo positivo e de grande massa específica, algumas partículas alfa chegariam muito perto do núcleo e sofreriam, assim, uma força repulsiva muito intensa.

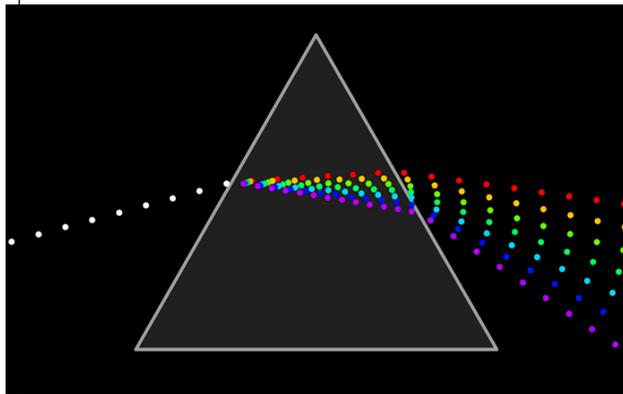
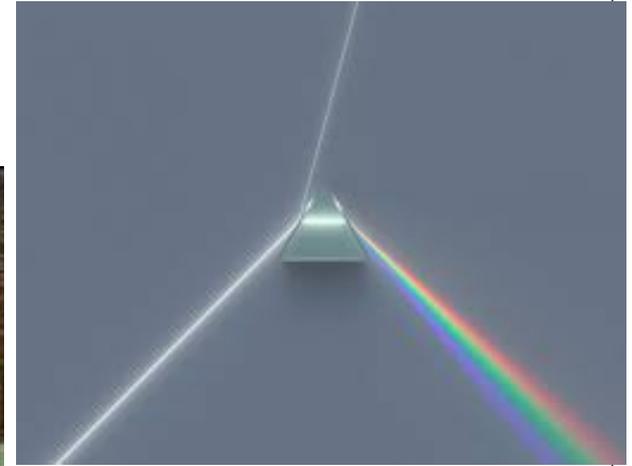
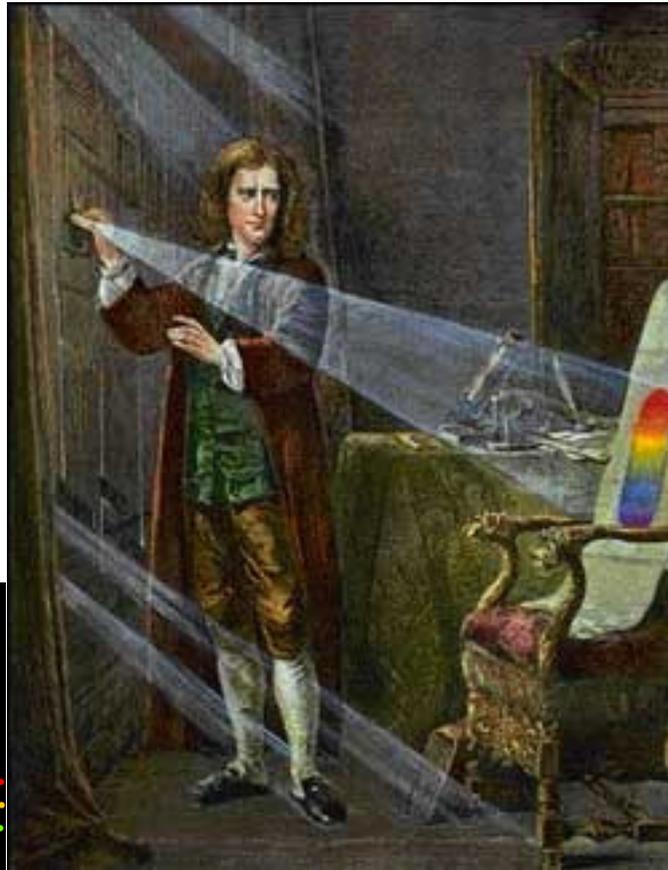
Experimento de Rutherford (1909)

PROBLEMA: um elétron em “órbita” estaria em movimento acelerado.

Pelas equações do eletromagnetismo clássico (Maxwell), ele teria de emitir radiação (luz), perdendo energia até cair no núcleo!!! **A Física clássica prevê que os átomos seriam instáveis !!**



Newton e a Dispersão da Luz

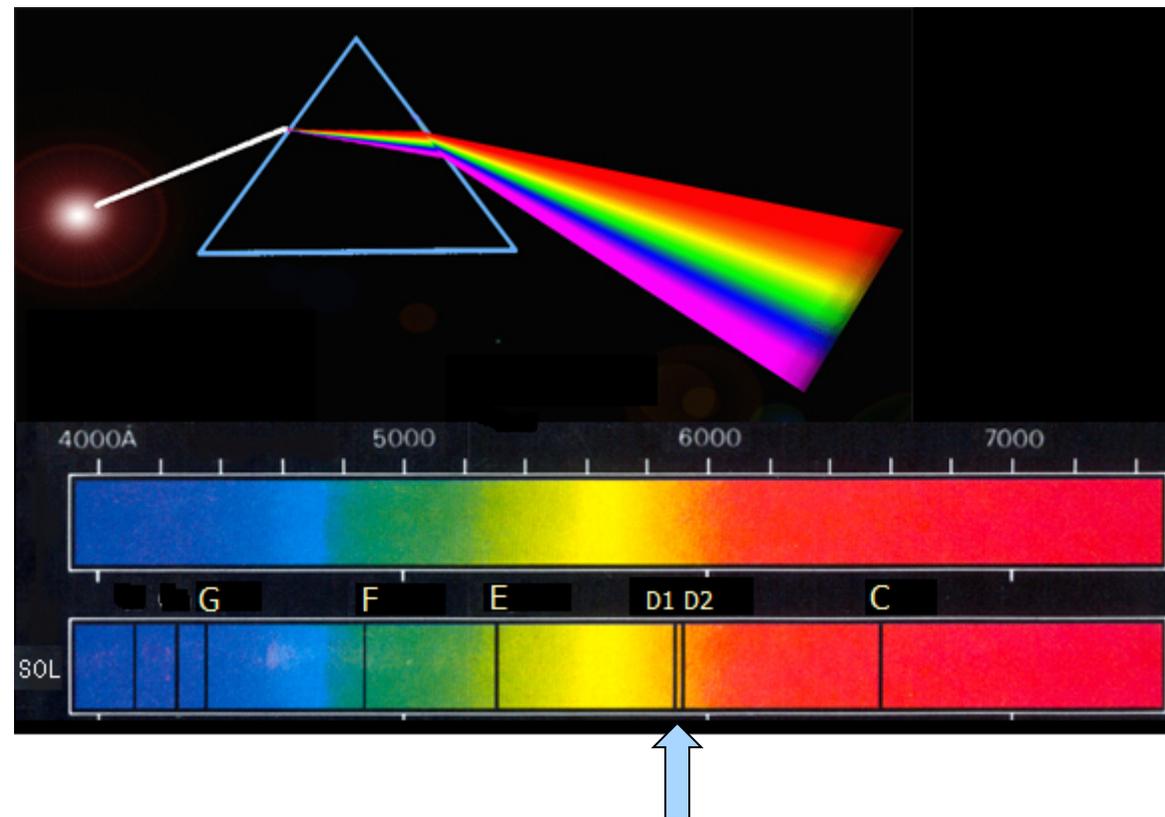


Espectro Solar e as Linhas de Fraunhofer

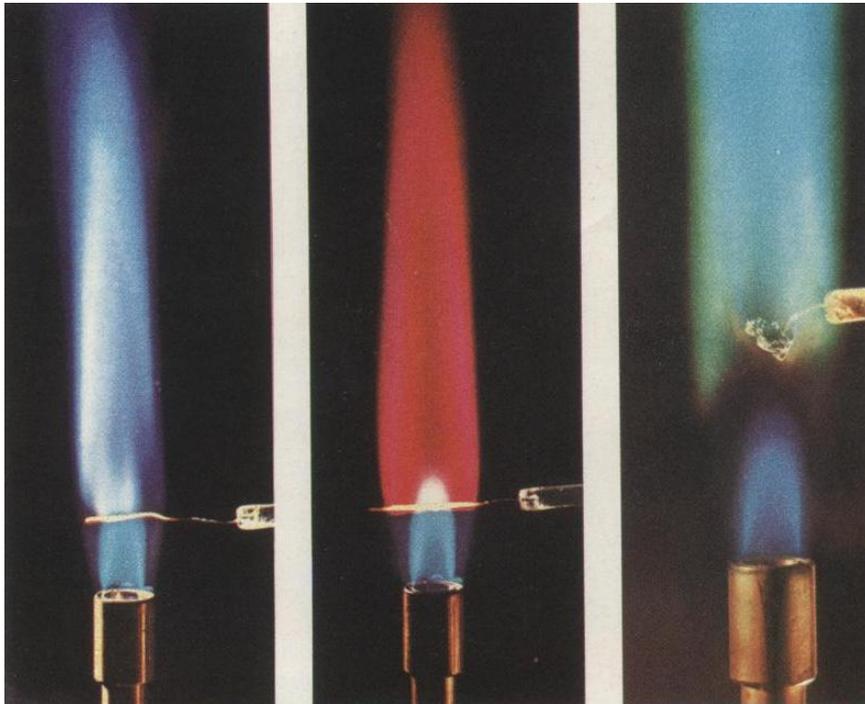


- D1 = 5890 Å
- D2 = 5896 Å

Espectro:
Vênus = Sol
Sirius ≠ Sol



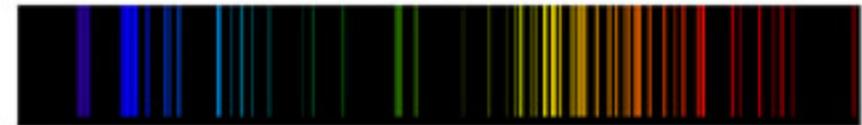
Análise Espectral: Kirchhoff e Bunsen



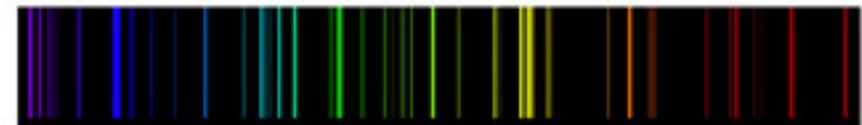
Hidrogênio



Hélio

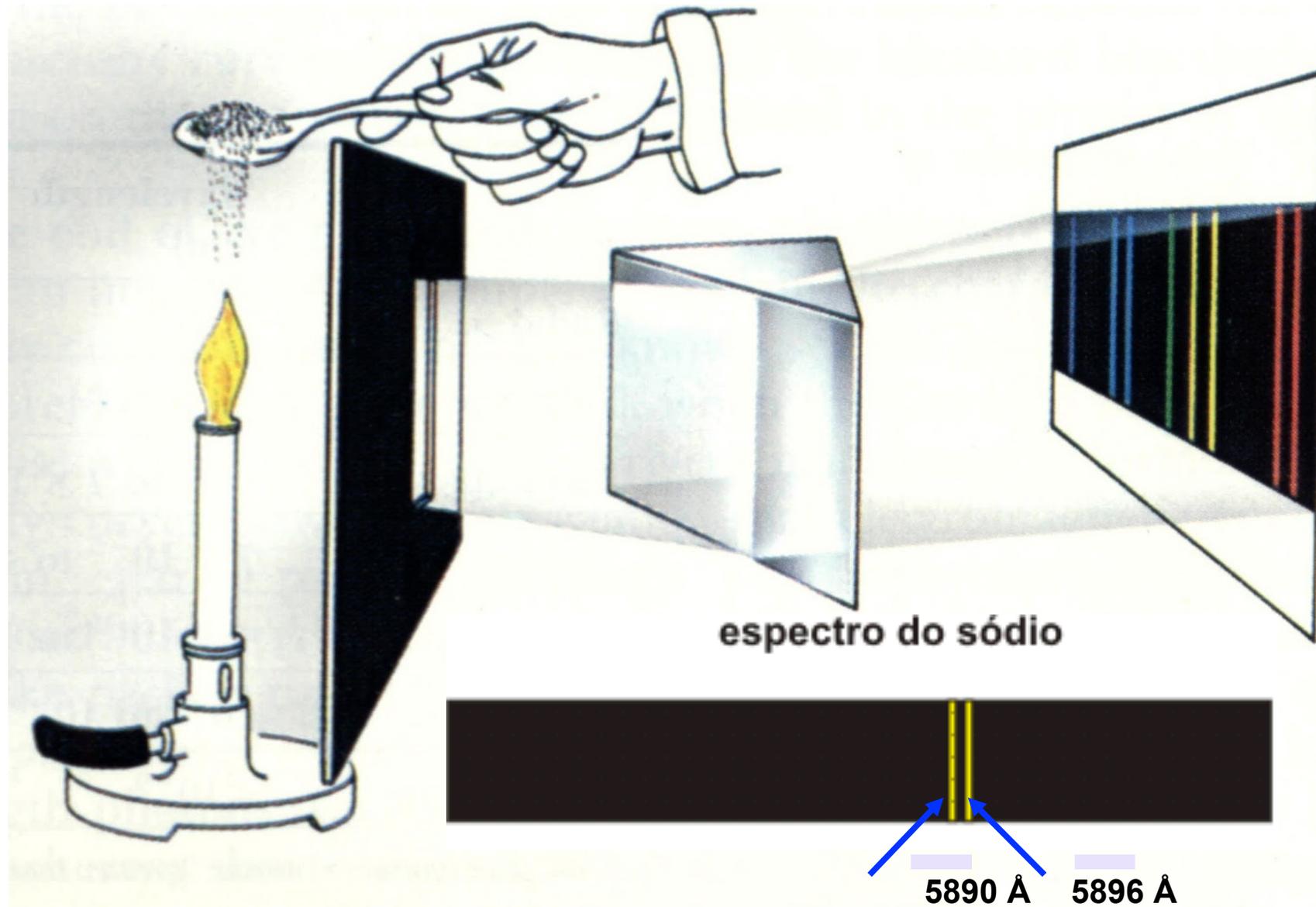


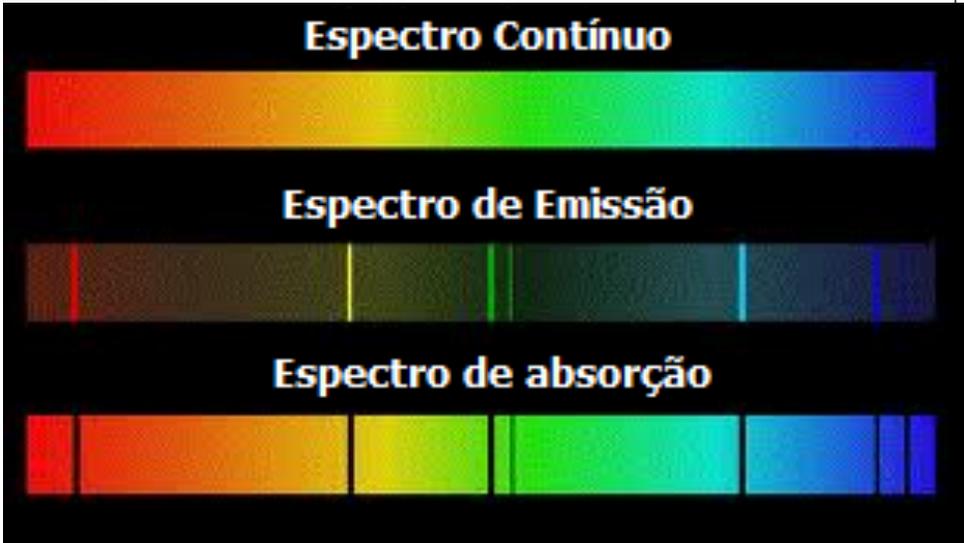
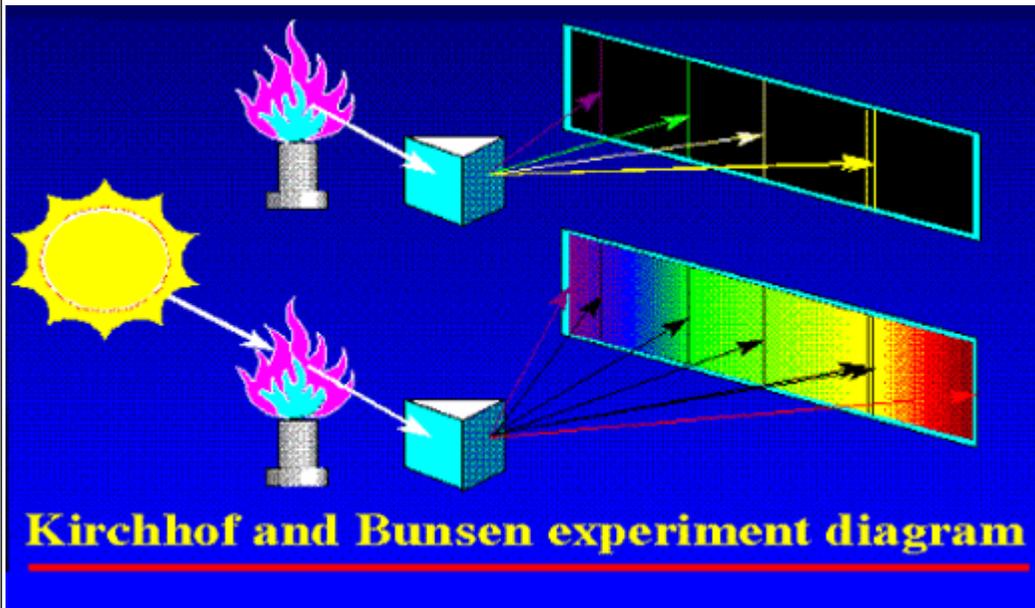
Neônio



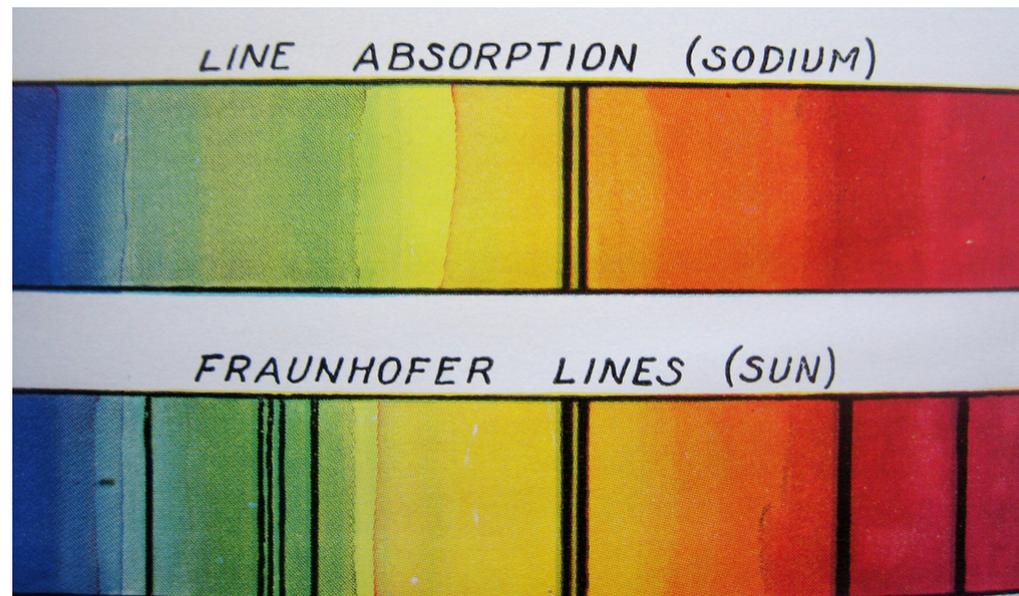
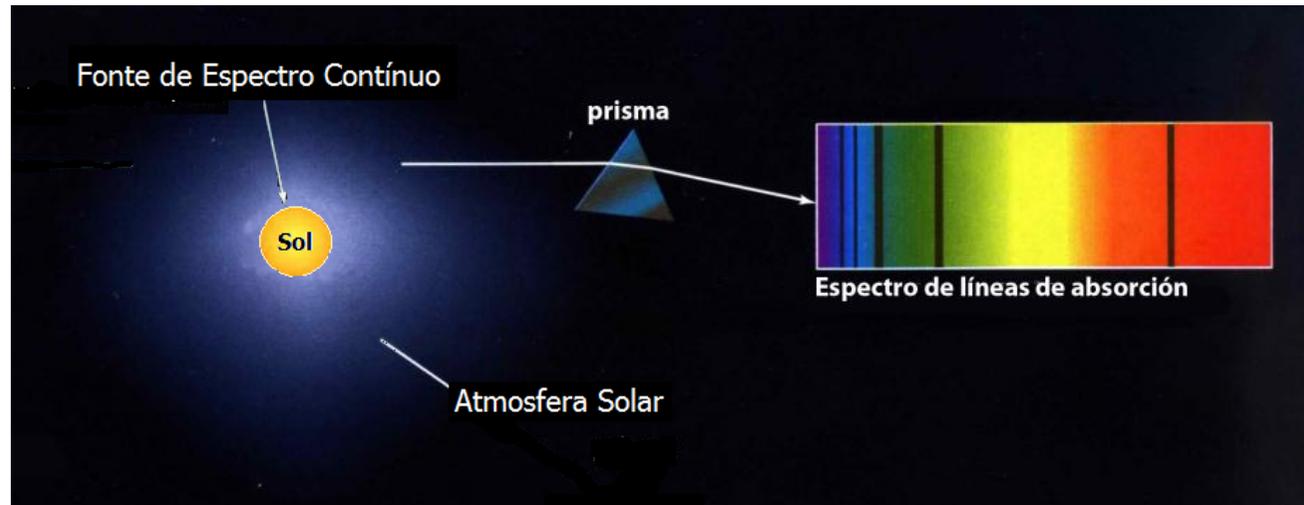
Mercúrio

Análise Espectral: Dupleto de Sódio

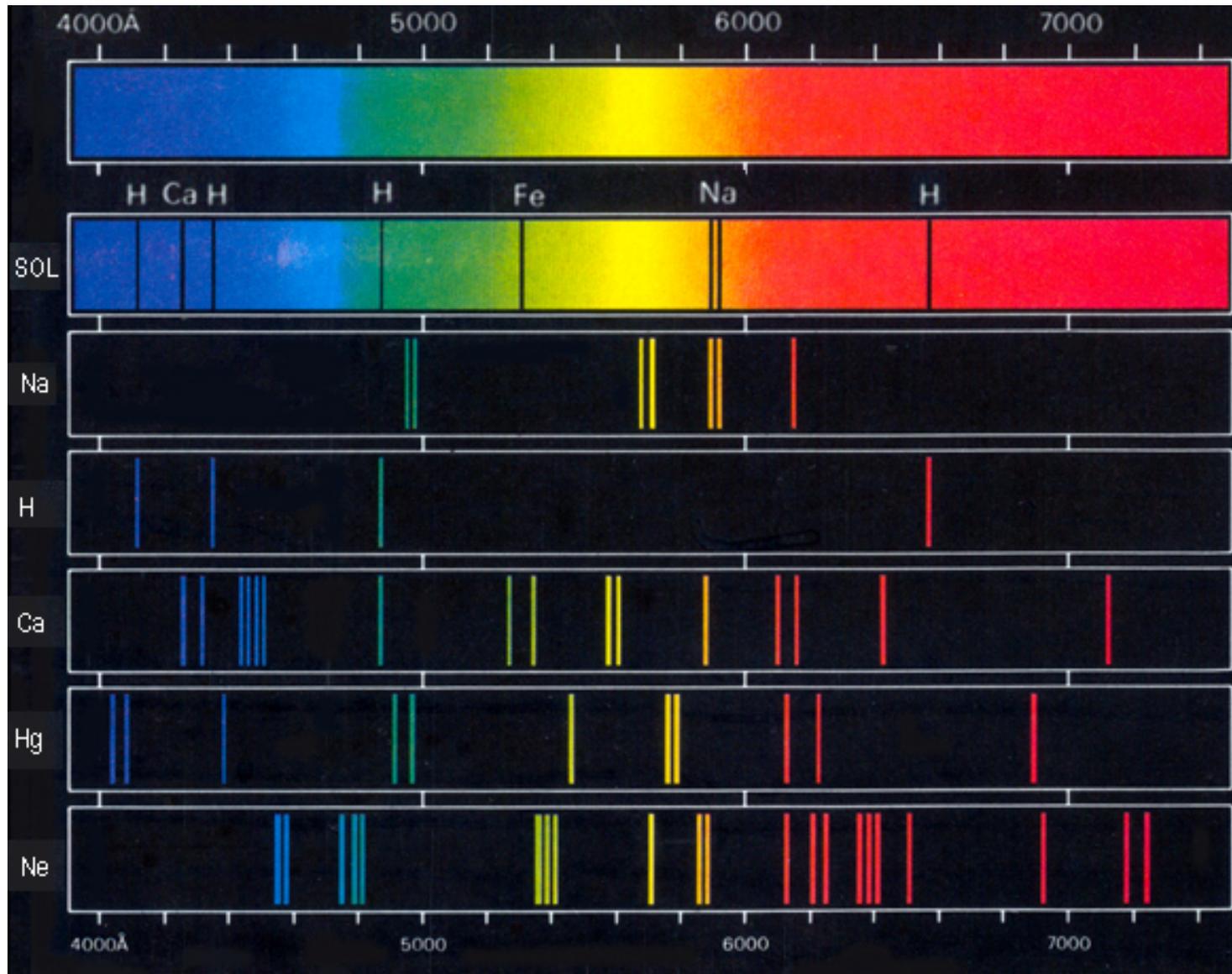




Do que o Sol é feito?

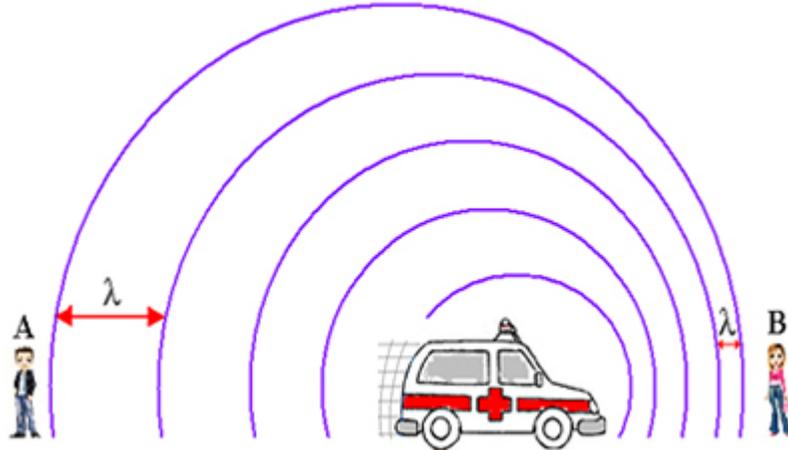


Do que o Sol é feito?



O Efeito Doppler e a Rotação do Sol

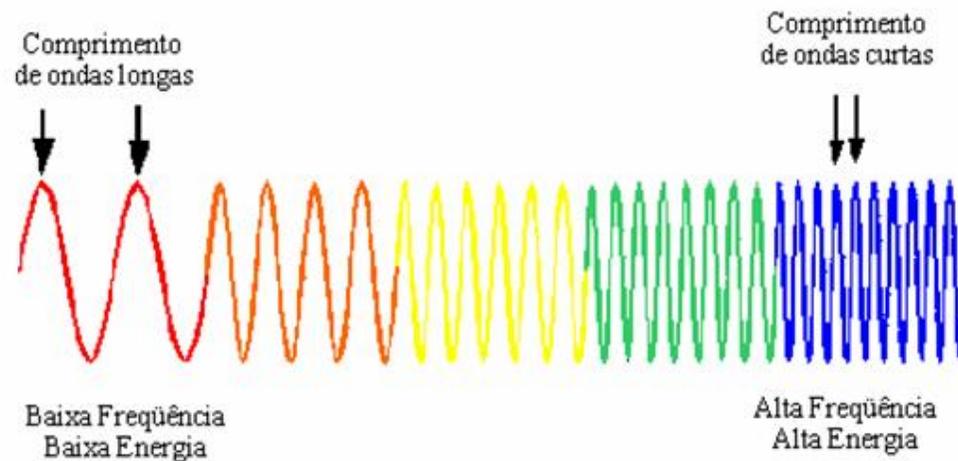
com som



Doppler Effect

Stationary source	 $v = 0$	 no shift
Approaching source	 v	 blue shift
Receding source	 v	 red shift

Measuring the relative velocities of stars by the Doppler shift.



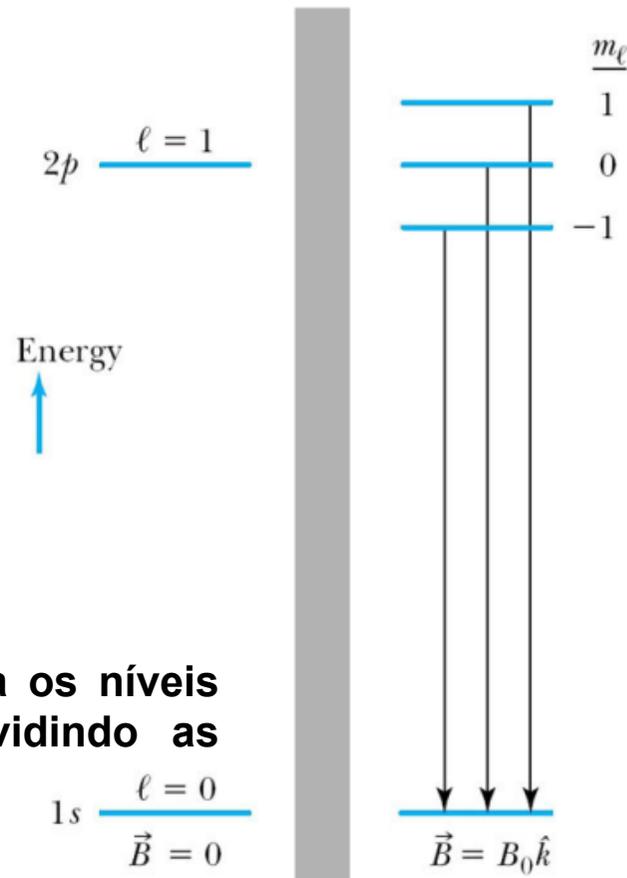
O Efeito Zeeman e o Campo Magnético das Estrelas

O Efeito Zeeman

A transição de 2p para 1s, separada pelo campo magnético.

O campo magnético altera os níveis de energia atômicos, dividindo as linhas espectrais.

A separação entre as linhas é proporcional à intensidade do campo. Isto permite verificar a presença de campo magnético e determinar sua intensidade.

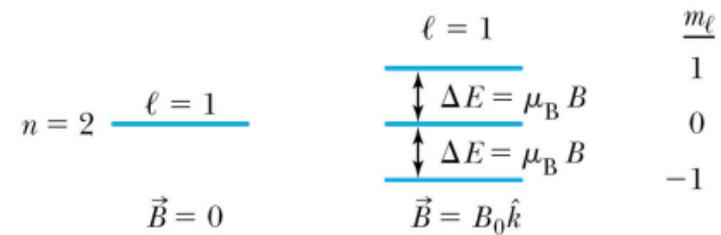


Átomo de Hidrogênio

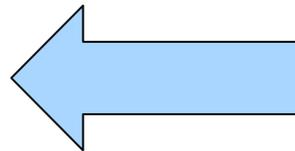
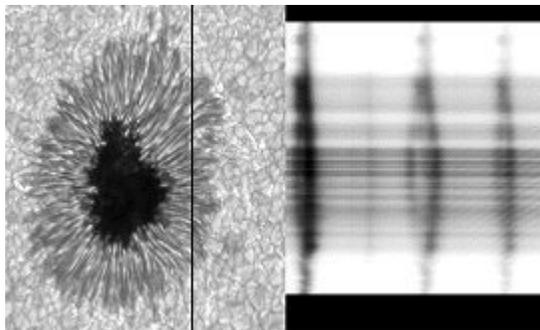
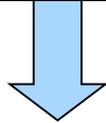
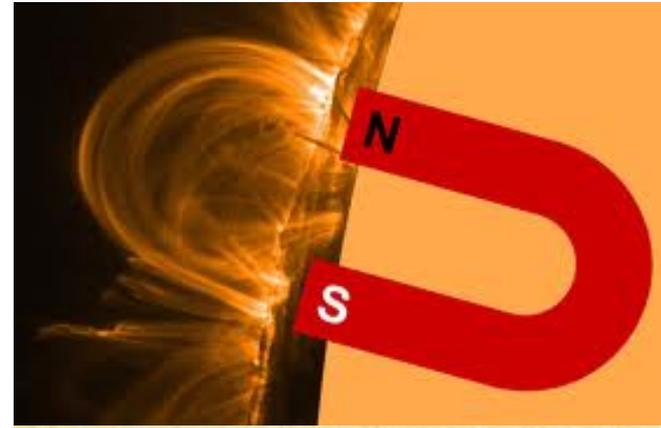
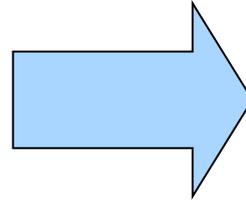
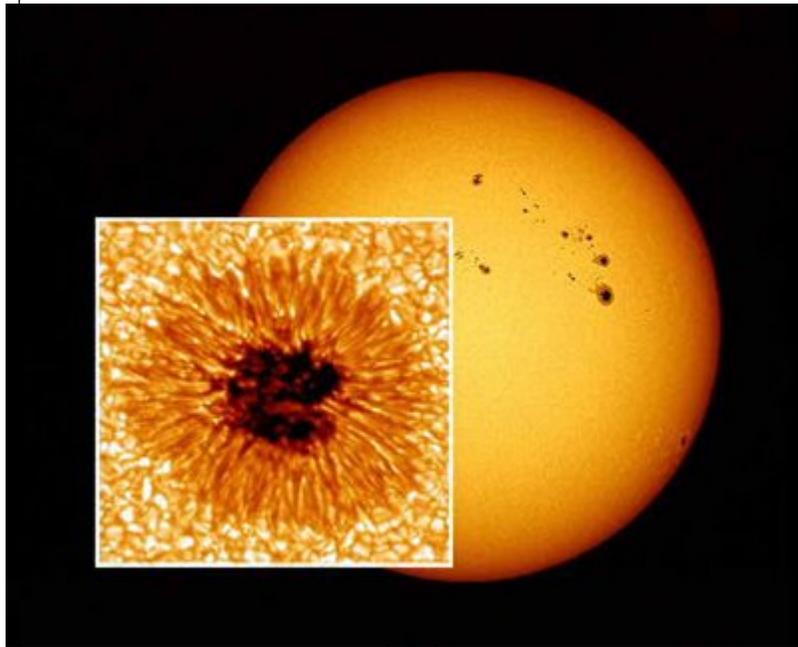
Sem campo magnético

Com campo magnético

m_ℓ	Energy
1	$E_0 + \mu_B B$
0	E_0
-1	$E_0 - \mu_B B$

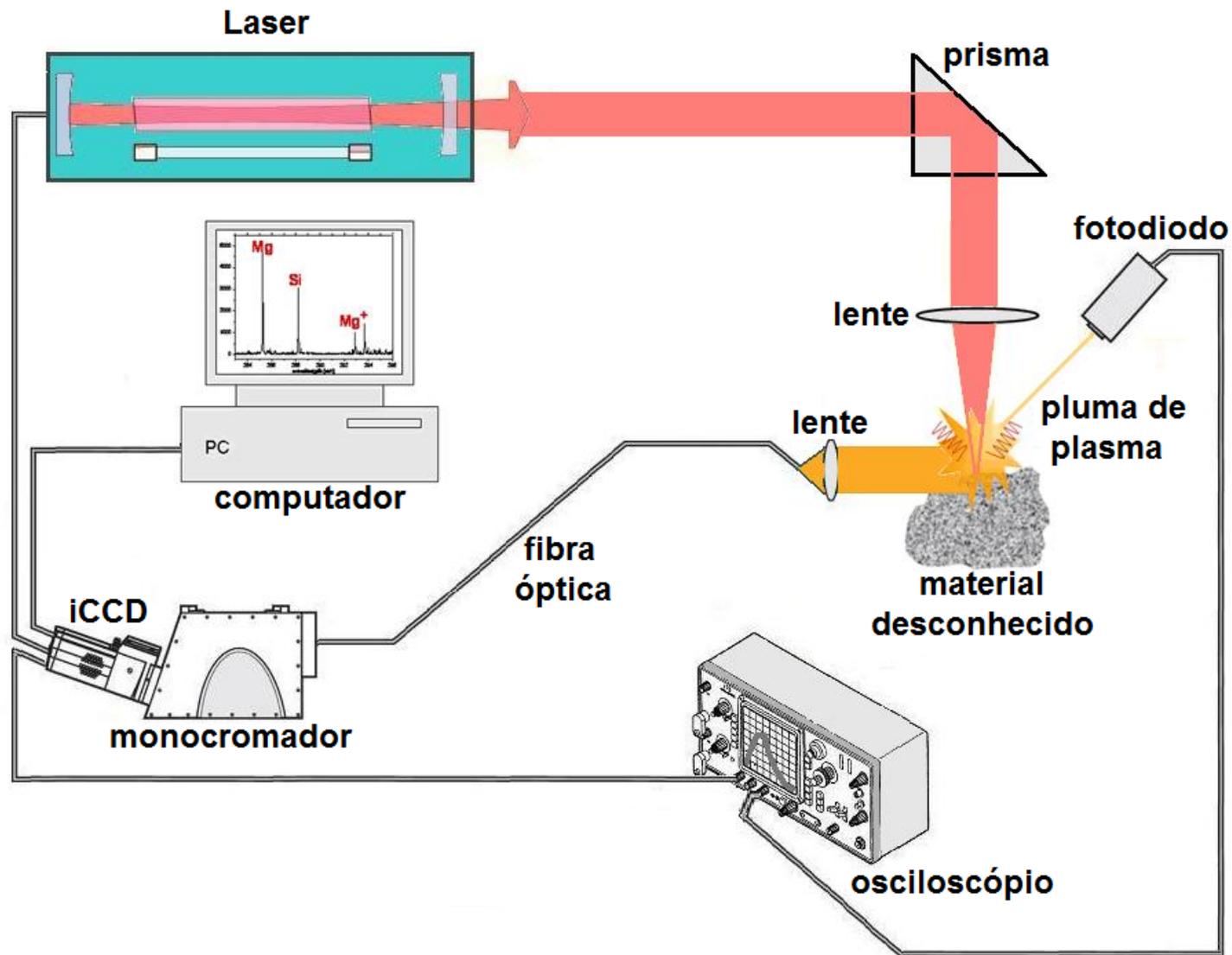


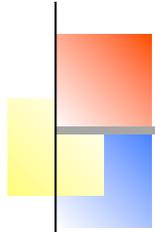
Manchas Solares



$$\Delta E = \mu_B B = \frac{hc\Delta\lambda}{\lambda_s\lambda_c}$$

Experimento moderno (IF-UFF)





Radiação de corpo negro

Um corpo negro (pedaço de carvão) quando aquecido emite uma radiação térmica que depende de sua temperatura:



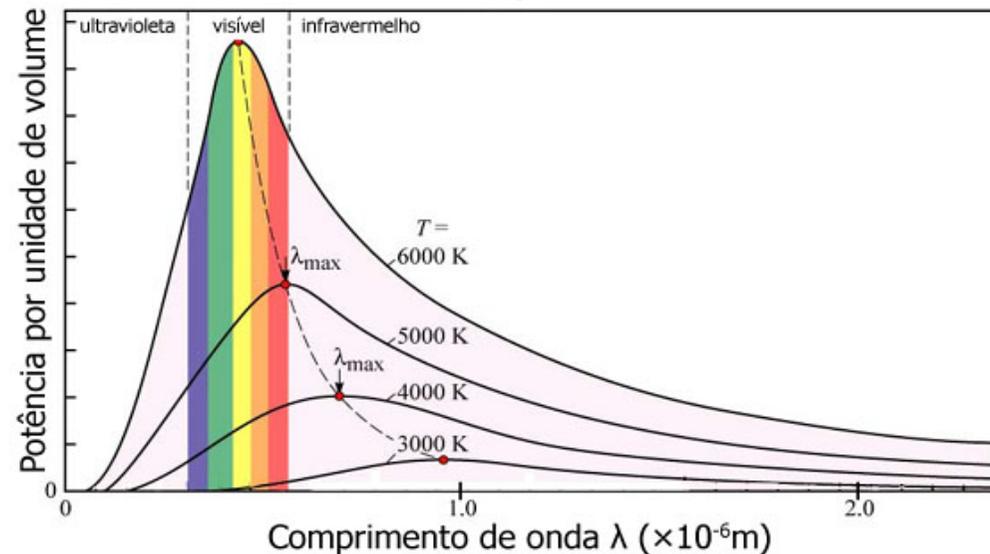
Lei de Stefan-Boltzmann

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Lei de deslocamento de Wien

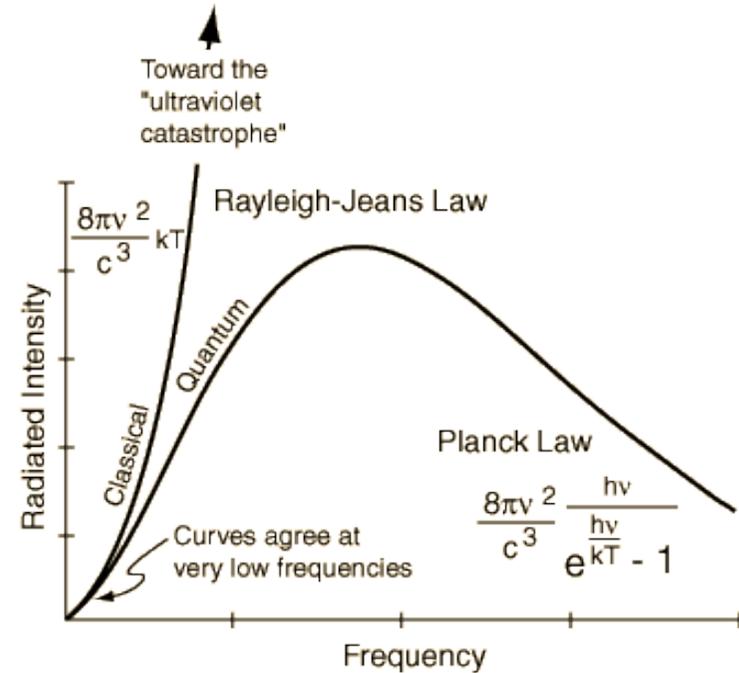
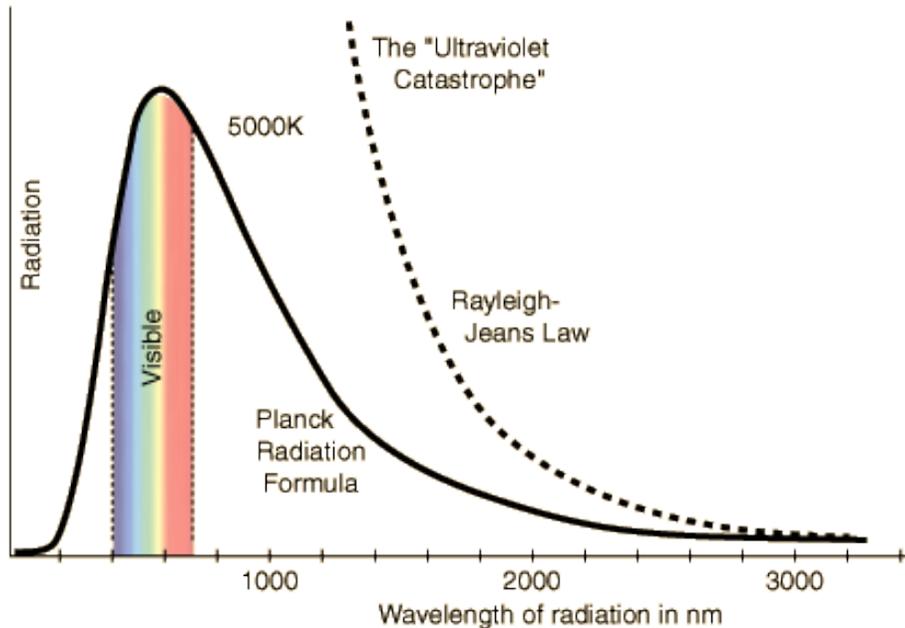
$$\lambda_{\max} = (2.90 \times 10^6) / T$$

Objetos a uma temperatura maior emitem com maior intensidade e apresentam um pico em comprimentos de onda mais curtos.



Radiação de corpo negro

Catástrofe do ultravioleta



Em 1900 para explicar a catástrofe do ultravioleta, Planck argumentou que as paredes de um corpo negro absorvem e emitem radiação de forma quantizada $E = hf$ ($E = h\nu$).

Onde $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}$.

Espectros discretos

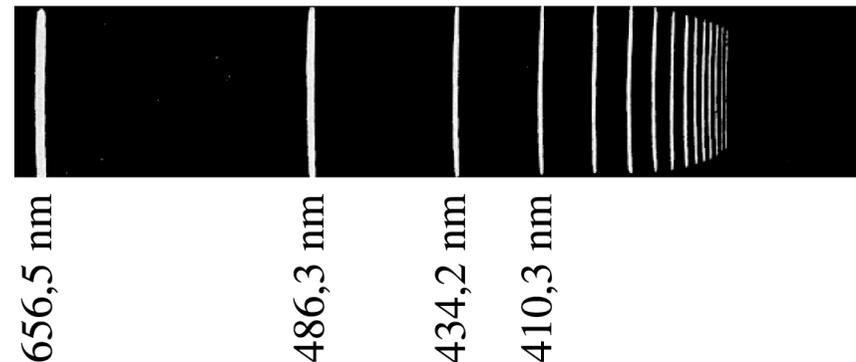
Emitidos por átomos e moléculas de um gás
(experimento dos raios catódicos)

$$\lambda = \frac{91,8 \text{ nm}}{\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)}$$

$$\lambda = \frac{91,8 \text{ nm}}{\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)}$$

As linhas espectrais se estendem até o limite da série, de 364,7 nm.

Espectro de emissão do hidrogênio.



Empiricamente, Balmer desenvolveu um fórmula possível de determinar o comprimento de onda das linhas

Primeira: $n = 3, 4, 5, \dots$ E a segunda $m = 1, 2, 3, \dots$ $n = m+1, m+2, \dots$